



Departamento de Hidráulica e Saneamento

— Cleyse Kelly B. Nunes  
Igor Matheus Benites  
Ana Maria R. C. de Castro  
Júlia Fonseca C. Andrade  
Valdir Schalch

# Disposição Final

Contribuições científicas em resíduos sólidos:  
compilação de estudos do NEPER



Volume 4

## COORDENADOR

**Prof. Sênior Valdir Schalch**

Professor Sênior do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

## EDIÇÃO E ARTE

**Cleyse Kelly Barbosa Nunes**

Mestranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP)

**Igor Matheus Benites**

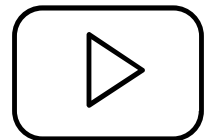
Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP)

**Ana Maria Rodrigues Costa de Castro**

Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP)

**Júlia Fonseca Colombo Andrade**

Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP)



[neper.shs.eesc.usp.br](http://neper.shs.eesc.usp.br)

O conteúdo dos resumos compilados nessa obra é de inteira responsabilidade dos autores e não sofreu correção dos editores.

Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-Carlense, 400  
São Carlos - SP

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA  
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,  
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues  
Fontes da EESC/USP

D612            Disposição final / Autores : Cleyse Kelly B. Nunes,  
                  Igor Matheus Benites, Ana Maria R. C. de Castro...  
                  [et al.]-- São Carlos : EESC-USP, 2023.

                  [40] p. (Contribuições científicas em resíduos sólidos  
                  compilação de estudos do NEPER; 4)  
                  ISBN 978-65-86954-30-2

                  1.            Gestão de resíduos. 2. Resíduos sólidos.  
                  3. Aterro sanitário. 4. Lixiviado. 5. Aproveitamento  
                  energético. I. Nunes, Cleyse Kelly B. II. Benites, Igor  
                  Matheus. III. Castro, Ana Maria R. C. de. IV. Andrade,  
                  Júlia Fonseca C. V. Schalch, Valdir. VI. Título.

**01**

Apresentação e Índice Interativo

**02**

Introdução

**03**

Teses de Doutorado

**04**

Dissertações de Mestrado

**05**

Trabalhos de Graduação

**SUMÁRIO**

---

# CAPÍTULO 01

## APRESENTAÇÃO E ÍNDICE INTERATIVO



## APRESENTAÇÃO



Departamento de Hidráulica e Saneamento

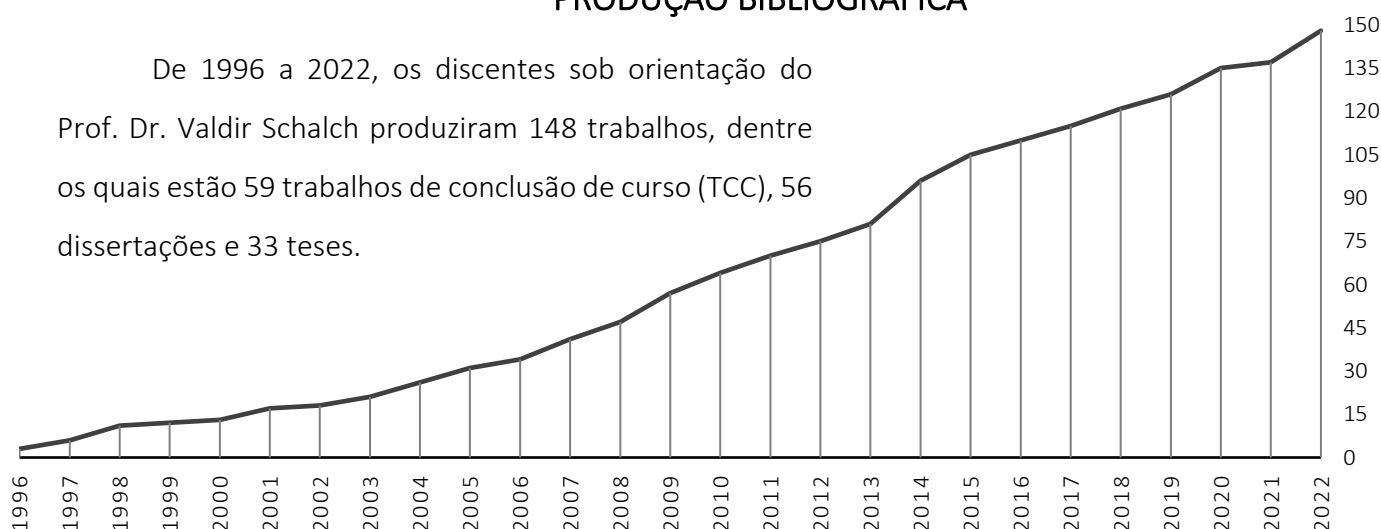
### O NÚCLEO

Criado em 2003, o Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos (NEPER) é um grupo de pesquisa vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Desde sua criação, o grupo é coordenado pelo Prof. Dr. Valdir Schalch, que orientou mais de 140 alunos de pós-graduação e graduação até o ano de 2022.

O NEPER atua em diversas atividades relacionadas com gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, como: pesquisas e estudos sobre redução, reutilização, reciclagem, recuperação energética e tratamento de resíduos, bem como a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos; organização de Simpósios sobre Resíduos Sólidos (SIRS); divulgação científica nas redes sociais; e elaboração e revisão de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS).

### PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

De 1996 a 2022, os discentes sob orientação do Prof. Dr. Valdir Schalch produziram 148 trabalhos, dentre os quais estão 59 trabalhos de conclusão de curso (TCC), 56 dissertações e 33 teses.



Com o objetivo de celebrar o vigésimo aniversário do NEPER em 2023 e promover a disseminação do conhecimento científico na área de resíduos sólidos, foi elaborada esta compilação abrangendo todos os estudos realizados pelo grupo que resultaram em TCCs, dissertação ou tese. A compilação está organizada em quatro volumes, cada um deles abordando uma área crucial da gestão de resíduos sólidos.

Temas e número de trabalhos incluídos em cada volume

Volume	Temas incluídos	Número de trabalhos*
<b>Diagnóstico, planejamento e gestão</b>	Estudos de caracterização e diagnóstico; planos; políticas; análise financeira; avaliação da gestão; eventos sustentáveis.	64
<b>Economia circular</b>	Logística reversa; coleta seletiva; triagem; reciclagem; reutilização; redução; prevenção; avaliação de ciclo de vida; educação ambiental; catadores de materiais recicláveis.	28
<b>Reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos</b>	Processos tecnológicos de reciclagem; compostagem; digestão anaeróbia; tratamento de resíduos; recuperação energética.	47
<b>Disposição final</b>	Tratamento de lixiviado; aproveitamento energético em aterros; gerenciamento de áreas contaminadas.	23

\* 14 trabalhos foram incluídos em mais de um volume, por se relacionarem a mais de uma temática.

## AS LINHAS DE PESQUISA

- Economia circular



- Resíduos da Construção Civil

- Geração de energia a partir de resíduos sólidos



- Resíduos de Serviços de Saúde

- Gestão de cadáveres em catástrofes



- Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico

- Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos



- Resíduos sólidos urbanos

- Modelagem matemática e computacional aplicada à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos



- Planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS)

- Reciclagem inclusiva



- Tratamento e disposição de Resíduos Sólidos

O Núcleo teve forte atuação na área de pesquisa sobre resíduos sólidos nas últimas duas décadas. Durante esse período, os pesquisadores do grupo têm se dedicado a diversas linhas de pesquisa, abordando uma ampla gama de temas relacionados à gestão e ao gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos.

Uma das linhas de pesquisa de destaque concentra-se na economia circular, um conceito que propõe a transição de um modelo linear de produção e consumo para um modelo circular. Nesse novo paradigma, os resíduos são considerados recursos valiosos e reintroduzidos no ciclo produtivo por meio de práticas de redução, reutilização e reciclagem.

Outra área de estudo abrange a geração de energia a partir de resíduos sólidos. Os pesquisadores investigam tecnologias e processos capazes de converter os resíduos em fontes de energia, como a digestão anaeróbia.

A gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos também são tópicos centrais nas pesquisas realizadas. As investigações abrangem desde a coleta, transporte, armazenamento, triagem, reciclagem, tratamento dos resíduos, disposição final dos rejeitos até a análise de aspectos ambientais, sociais e econômicos envolvidos. São exploradas ferramentas de gestão, como os planos e a análise do ciclo de vida dos materiais, assim como a implementação de sistemas de coleta seletiva e logística reversa. Paralelamente, a modelagem matemática e computacional é utilizada como ferramenta essencial para a análise e otimização de sistemas de gestão de resíduos. Essas técnicas permitem simular diferentes cenários e estratégias, proporcionando um embasamento sólido para a tomada de decisões.

As pesquisas também abrangem a reciclagem inclusiva, uma abordagem que busca promover a inclusão social e econômica dos catadores de materiais recicláveis. Além disso, visa-se o fomento à reciclagem e o estabelecimento de cadeias produtivas sustentáveis. No setor da construção civil, os resíduos gerados têm sido objeto de estudo para o desenvolvimento de técnicas e tecnologias que reduzam os impactos ambientais. Busca-se promover a reciclagem de materiais de construção, estabelecer estratégias adequadas de descarte e minimizar a geração de resíduos nesse setor estratégico.

A gestão dos resíduos provenientes de serviços de saúde também é uma preocupação relevante. São desenvolvidas pesquisas com o objetivo de definir práticas adequadas de segregação, tratamento e destinação desses resíduos, evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Da mesma forma, os resíduos gerados nos processos de tratamento de água, esgoto e demais serviços de saneamento básico são objeto de estudo. A análise e a implementação de práticas adequadas de



gestão são fundamentais para minimizar os impactos ambientais e garantir a eficiência desses serviços essenciais.

As pesquisas também se dedicam aos resíduos sólidos urbanos, que são gerados nas áreas urbanas. O foco vai desde a coleta e transporte dos resíduos até sua destinação final adequada. O objetivo é reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, promovendo práticas sustentáveis de gestão. Outra área de atuação é a elaboração, implementação e avaliação de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Esses planos têm como objetivo promover uma gestão eficiente e sustentável dos resíduos sólidos em nível local. Isso envolve a definição de estratégias, metas e ações para a coleta seletiva, reciclagem, tratamento, disposição final e conscientização da população.

As pesquisas realizadas pelo grupo também abordam tecnologias e métodos de tratamento de resíduos sólidos. São explorados processos físicos, químicos e biológicos para o tratamento adequado dos resíduos. Além disso, são buscadas alternativas seguras e adequadas para a disposição final dos resíduos, a fim de minimizar os impactos ambientais.

Em suma, o grupo de pesquisa tem se dedicado, ao longo dos últimos 20 anos, a diversas linhas de estudo relacionadas aos resíduos sólidos. Por meio de uma abordagem abrangente e multidisciplinar, busca-se o desenvolvimento de soluções inovadoras, estratégias eficazes e políticas sustentáveis para a gestão responsável desses resíduos. O objetivo final é promover a transição para um modelo mais sustentável e circular de gestão, minimizando os impactos negativos e contribuindo para a construção de um futuro mais consciente e ambientalmente responsável.



## ÍNDICE INTERATIVO

O índice interativo busca classificar os trabalhos apresentados nesse volume conforme a tipologia de resíduos a qual o estudo está relacionado. As tipologias aqui listadas seguem a classificação quanto à origem apresentada no Art. 13º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305/2010. Além disso, alguns trabalhos ainda foram alocados em três categorias adicionais denominadas: Tratamento de lixiviado, gerenciamento de área contaminadas e aproveitamento energético.

<b>Classificação</b>	<b>Página do Estudo</b>				
Resíduos Domiciliares (RD)	25	28	29	31	32
Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	15	17	18	23	27
	34	35	36	37	38
Resíduos Industriais (RI)	26		31		
Resíduos da Construção Civil (RCC)	20		21		
Tratamento de lixiviado	15	19	20	21	22
	25	27	28	35	37
Gerenciamento de área contaminadas	15	17	18	23	
	26	34	36		
Aproveitamento energético	18	29	30	38	39

# CAPÍTULO 02

## | INTRODUÇÃO



## DISPOSIÇÃO FINAL

Este volume intitulado "Disposição Final" apresenta uma série de estudos relevantes e abrangentes relacionados à temática dos resíduos sólidos. Os trabalhos aqui listados são resultados de estudos feitos por alunos orientados pelo Professor Valdir Schalch. Este quarto volume desempenha um papel importante na compilação dos trabalhos que visam fornecer uma visão holística sobre a disposição final.

Os estudos compilados exploram temáticas importantes relacionadas à disposição final, que despertavam interesse na época e ainda representam um desafio nos dias atuais. Dentro deste compilado de estudos, os trabalhos podem ser divididos em quatro principais subtemas.

### Disposição Final Subtemas

Tratamento de  
Lixiviado

Gerenciamento de  
Áreas Contaminadas

Aproveitamento  
Energético

Outros

Dentro da temática “tratamento de lixiviado” têm-se trabalhos que visam avaliar o comportamento e atenuação de contaminantes dos lixiviados no solo; tratabilidade dos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP, utilizando-se reatores biológicos; investigação do potencial de contaminação de lixiviados de aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação, dentre outros.

Sobre a temática “aproveitamento energético”, alguns estudos tiveram como objetivo medir *in situ* a contribuição dos aterros no fluxo de gases CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na natureza. Outros se dispuseram a avaliar o potencial de aproveitamento do biogás advindo da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos domiciliares em aterro sanitário e em biometanizadores, analisaram as tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil e propuseram uma série de diretrizes para esse aproveitamento.

Quanto ao “gerenciamento de áreas contaminadas”, um estudo fez uma análise da gestão

dos resíduos sólidos urbanos na bacia hidrográfica Tietê-Jacaré, assim como verificou a sua influência na qualidade dos recursos hídricos da região, por meio de coletas de água superficial e subterrânea, localizados nos municípios de Araraquara, Bauru, Brotas, Jaú, Ribeirão Bonito e São Carlos. Já outro estudo verificou a possibilidade de utilização de áreas anteriormente degradadas pela disposição de resíduos sólidos, como alternativa locacional para disposição de outros tipos de resíduos sólidos.

Este compilado de estudos conta com 8 teses, 8 dissertações e 7 trabalhos de conclusão de curso. Dentre eles, 10 tratam do subtema tratamento de lixo, 7 de gerenciamento de áreas contaminadas, 5 tratam sobre aproveitamento energético, e 3 outros trazem assuntos sobre a compostagem e digestão anaeróbia como alternativa à disposição da matéria orgânica nos aterros sanitários.

Dentre os trabalhos, 70% deles foram publicados antes da PNRS. Quanto à tipologia dos resíduos estudados 12 tratam dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU); 5 falam sobre os Resíduos Domiciliares (RD); em 3 não há menção específica, porém pelo contexto do estudo pressupõe que se trate de RSU, por citar aterro sanitário; 2 sobre Resíduos Industriais (RI) e 1 aborda os Resíduos da Construção Civil (RCC).

### Situação atual do Brasil

O principal documento que rege informações gerais sobre resíduos sólidos no Brasil é a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)<sup>1</sup>, promulgada pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. De acordo com a PNRS, disposição final ambientalmente adequada é a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

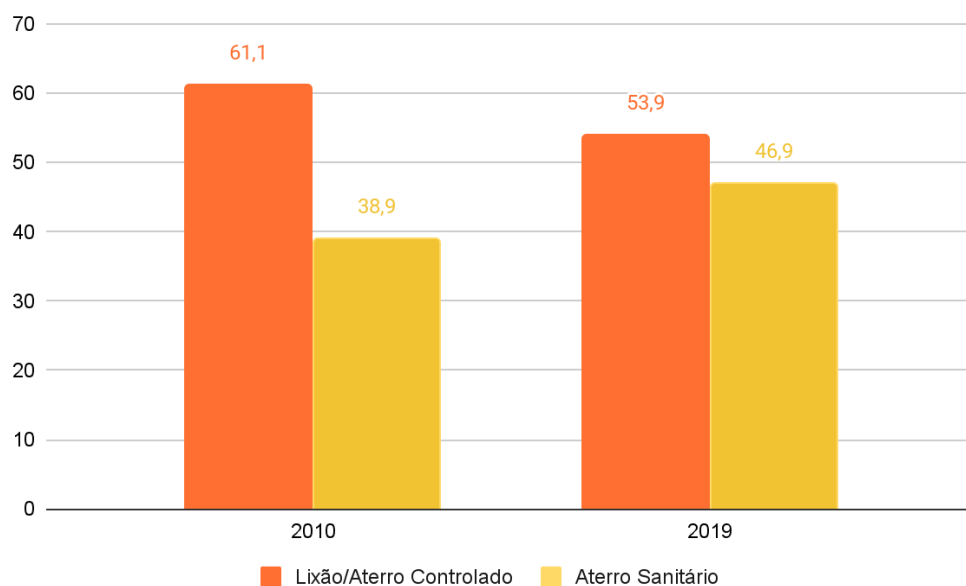
A disposição final ambientalmente adequada usada no Brasil para os resíduos sólidos urbanos (RSU) são os aterros sanitários. Porém a disposição mais utilizada ainda são os lixões e aterros controlados, considerada como uma disposição inadequada em virtude do seu potencial de contaminação ambiental. A PNRS estabeleceu um prazo para que as disposições inadequadas fossem extintas, porém, não foi cumprido.

O novo marco legal do saneamento (Lei nº 14.026/2020) trouxe um novo prazo para a eliminação dos lixões e aterros controlados, em 2024. Porém, essa ainda parece ser uma realidade

---

<sup>1</sup> BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010.

distante. Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)<sup>2</sup>, 53,9% dos municípios brasileiros ainda enviam seus resíduos para aterros controlados/lixões.



Fonte: Planares (2022)<sup>2</sup>.

De acordo com o Planares, a disposição final está baseada em três pilares: o encerramento de locais de disposição inadequada, com inclusão social e emancipação econômica dos catadores; redução da quantidade de resíduos sólidos encaminhados para disposição final; e o aproveitamento do potencial energético das unidades de disposição final de rejeitos. Os desafios para alcançar tais pilares são muitos, e as pesquisas científicas servem como degraus para alcançar o objetivo estabelecido desde 2010, com a promulgação da Política Nacional, de encerrar por definitivo a disposição inadequada de resíduos sólidos no Brasil.

<sup>2</sup> BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2022.

# CAPÍTULO 03

| TESES DE DOUTORADO



Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviado em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos

Almeida, Tania Leme de

(2009)

Estudos recentes constataram a existência de processos que permitem a atenuação natural dos contaminantes presentes nos lixiviados. O adequado entendimento destes processos pode originar benefícios possíveis de serem aplicados em aterros antigos, novos ou naqueles que ainda serão concebidos. O presente estudo avaliou o comportamento e a atenuação de contaminantes dos lixiviados no solo, por meio de experimento desenvolvido em colunas de percolação e, para a avaliação da atenuação este teste é indicado por refletir as condições naturais e as características adsorptivas do solo, propiciando uma melhor simulação da atenuação. O lixiviado e o solo utilizados neste experimento são provenientes do aterro sanitário de São Carlos - SP. O solo utilizado foi caracterizado quanto à composição física, química, biológica e mineralógica para verificar o transporte do percolado nas colunas e a interação solo-contaminante. Na área do aterro foram feitas perfurações, ensaios de condutividade hidráulica e avaliação da geologia local, para conhecimento das características físicas, químicas, biológicas, mineralógicas e geológicas do solo *in situ*. Este foi classificado como arenoso, apresentando características físicas e químicas que não se enquadram nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos, pois, a capacidade de troca de cátions, superfície específica, potencial hidrogeniônico e classe textural arenosa, evidenciam que este solo possui deficiente capacidade de retenção e imobilização de contaminantes. Além disso, pela observação *in situ*, constata-se que a área de disposição de resíduos sólidos de São Carlos está situado sobre rochas da Formação Botucatu, sendo que a mineralogia do solo presente no local é composta de quartzo, caulinita, goethita, hematita, gibsitita e ilita. O ensaio de condutividade hidráulica indicou que o solo presente na base do Aterro sanitário não atende a valor de permeabilidade exigida por norma, o que poderá permitir a infiltração de água da chuva, aumentando a produção do lixiviado e sua movimentação no perfil, podendo atingir as águas subterrâneas. Assim, foram traçadas curvas características do transporte de contaminantes nas amostras efluentes monitoradas durante o processo de percolação, coletadas a cada 0,25 volume de poros até atingir 10,0 volume de poros percolados. As



curvas características do transporte de contaminantes traçadas apresentaram baixas concentrações de Chumbo, Cádmio, Ferro, Zinco, Manganês, Cálcio, Magnésio, Cobre, Cromo nas amostras fluentes. Já o Sódio, Potássio, Cloro, Níquel e Alumínio foram preferencialmente percolados com o lixiviado, evidenciando a variação da faixa de concentração de cada elemento no percolado. Os perfis de concentração dos metais pesados mostraram que existe uma frente de contaminação. As curvas de retenção de metais no solo mostraram que a preferência de sorção apresentada pelos solos nas colunas foi: Cobre > Cádmio > Cálcio > Zinco > Magnésio > Potássio > Manganês > Fósforo > Ferro > Níquel > Alumínio. Cujos valores retidos no solo das colunas podem estar evidenciando a capacidade deste solo em reter contaminantes. O solo em questão apresentou baixo potencial para retenção dos contaminantes presentes no lixiviado, classificado como arenoso e, com características químicas que não se enquadram nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos.

**Palavras-chave:** Processos de atenuação; Metais pesados; Lixiviado de aterro; Atenuação natural; Aterro sanitário; Contaminação do solo; Resíduos Sólidos Urbanos.

Avaliação do risco à saúde da população vizinha às áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos: o aterro sanitário como cenário de exposição ambiental

Azevedo, Mônica de Abreu

(2004)

O presente estudo visou ao desenvolvimento de um estudo epidemiológico do tipo transversal para a avaliação do risco para a saúde da população residente próxima a uma área de disposição final de resíduos sólidos urbanos. O levantamento dos dados foi realizado no bairro de Perus, na cidade de São Paulo, SP, vizinho ao aterro sanitário Bandeirantes. O aterro Bandeirantes recebe diariamente cerca de 6.000 toneladas de resíduos sólidos do tipo classe II e III. O aterro ocupa uma área total de 1.400.000 metros quadrados, contendo aproximadamente 33 milhões de toneladas de resíduos dispostos. Os riscos para a saúde pública foram avaliados junto à população de estudo, 972 crianças na faixa etária de 1 a 5 anos incompletos, residente próxima ao aterro Bandeirantes. A área de estudo foi dividida em faixas distantes de 500 m do limite do aterro, para a definição das condições de exposição. Os indicadores de saúde utilizados foram: as prevalências de enfermidades diarreicas e parasitárias e os índices antropométricos. Na área de estudo, foi realizado um levantamento da qualidade ambiental, com intuito de relacionar os impactos ambientais, ocasionados pela prática de disposição final considerada, aos indicadores de saúde empregados. Os resultados obtidos, pela realização deste estudo, permitiram concluir que há relações estatisticamente significativas entre as exposições pesquisadas e os indicadores de saúde empregados.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; Avaliação de risco; Disposição de resíduos; Exposição ambiental; Resíduos sólidos; Saúde pública.

## Medidas da emissão de gases em oito aterros de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo - Brasil

Berto Neto, José  
(2009)

Os aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos são equipamentos que, necessariamente, devem ser integrados ao sistema de saneamento e proteção à saúde pública das municipalidades. Independentemente se bem planejados, construídos e operados, os mesmos oferecem impactos ambientais aos locais onde estão implantados e ao seu entorno. Os referidos aterros são fontes de emissão antropogênica de gases indutores do efeito estufa global, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O presente trabalho teve por objetivo medir, estimativamente, *in situ*, a contribuição destes equipamentos no fluxo destes gases na natureza. Para isso, foram desenvolvidas duas campanhas em oito aterros de municípios do estado de São Paulo (Brasil) nos anos de 2006 e 2007. Foram medidas as concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> no ar ambiente dos aterros, a emissão solo-ar e o fluxo a partir dos dissipadores verticais, quando presentes. As amostras coletadas do GAS foram analisadas por cromatografia gasosa. Os resultados evidenciaram que as concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> na atmosfera dos aterros foram de 18.000 ppm e 5.500 ppm, respectivamente. Estes valores corresponderam a dez mil vezes e quinze vezes maiores que aquelas medidas em locais distantes dos aterros (background). Os resultados das medidas do fluxo solo-ar apontaram para uma grande variabilidade desta emissão, entre os sítios da coleta, entre os aterros e entre as campanhas. As taxas médias de emissão solo-ar variaram de 5,66 g/m<sup>2</sup>.d a 148,20 g/m<sup>2</sup>.d para CH<sub>4</sub> e de 17,78 g/m<sup>2</sup>.d a 223,04 g/m<sup>2</sup>.d para CO<sub>2</sub>. A emissão estimada solo-ar para os aterros variou de 276,82 a 75.730,20 toneladas por ano de CH<sub>4</sub> e de 501,02 a 76.312,74 toneladas por ano para o CO<sub>2</sub>. A emissão estimada para os aterros a partir dos dissipadores verticais variou de 73,52 a 307,31 toneladas para CH<sub>4</sub> e de 165,83 a 692,32 toneladas por ano para o CO<sub>2</sub>. Os resultados também evidenciaram que a concentração dos gases no ar ambiente dos aterros e a emissão solo-ar, especialmente, pareceram independender da operação dispensada: caso aterros sanitários, controlados ou lixões. Todos apresentaram muitas semelhanças no processo de emissão. Mesmo a presença do sistema de sucção do GAS para alimentar a usina termoelétrica (UTE) no aterro Bandeirantes, São Paulo, Capital, não o diferenciou dos demais. De modo geral, não foi possível correlacionar variáveis que apontassem para tendências gerais na emissão destes sistemas de disposição de RSU. Com base nos resultados supracitados, este trabalho sugere futuras perspectivas de pesquisas.

**Palavras-chave:** Aterros de resíduos; Efeito estufa; Emissões fugitivas; Fluxo de dióxido de carbono; Fluxo de metano; Resíduos sólidos urbanos.

Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados gerados em aterro sanitário

Castro, Marcus César Avezum Alves de  
(2001)

Um dos desafios na elaboração de projetos de aterros sanitários é o equacionamento do destino/tratamento dos líquidos percolados em função das elevadas concentrações de poluentes, associadas a grandes variações, e seu abrandamento natural ao longo do tempo. Nesse sentido, o trabalho avalia, a partir da montagem de unidade piloto, a viabilidade do lançamento dos líquidos percolados gerados no aterro de sanitário, localizado no município de Piracicaba-SP, na Estação de Tratamento de Esgoto que dispõe de sistema australiano de lagoas. A unidade foi montada na própria estação e operada durante 18 meses, sendo avaliado o comportamento da eficiência para vazões crescentes de líquidos percolados. No trabalho foi investigado também a adequação dos métodos Suíço, Racional e do Balanço Hídrico na previsão da taxa de geração de líquidos percolados, a partir da comparação das estimativas obtidas pela aplicação dos métodos com a observada na prática. De maneira geral, pode-se dizer que é viável o lançamento de chorume em estações de tratamento de esgoto, sem prejuízo na eficiência do sistema. Com relação às estimativas das vazões de chorume pela aplicação dos métodos, os erros variaram desde menos 22% até mais 20% da vazão obtida na prática.

**Palavras-chave:** Aterros sanitários; Chorume; Resíduos sólidos; Tecnologias de tratamento.

Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada sequencial

Contrera, Ronan Cleber

(2008)

Este trabalho avaliou a tratabilidade dos lixiviados do aterro sanitário de São Carlos-SP, utilizando-se reatores biológicos. O experimento foi conduzido à temperatura ambiente, em uma unidade piloto construída no aterro sanitário de São Carlos-SP. Inicialmente foram testados e comparados dois tipos de reatores anaeróbios, cada um com volume total de 1.200 L e ambos providos de agitação mecânica, diferenciando-se pelo tipo de imobilização da biomassa, sendo o primeiro com biomassa auto-imobilizada (ASBR) e o segundo com biomassa imobilizada em espuma de poliuretano (ASBBR). Um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente de aproximadamente 120 L também foi avaliado. Além do pré-tratamento anaeróbio, foi avaliado também o pós-tratamento, que consistiu em um sistema de lodos ativados em batelada seqüencial de aproximadamente 180 L. O ASBR, inoculado com lodo granular de reator UASB, apresentou-se ineficiente, com problemas de desagregação e sedimentação da biomassa. O ASBBR, inoculado com lodo proveniente do fundo de uma lagoa de lixiviados, ao final de sua adaptação, apresentou eficiências superiores a 70%, em termos de remoção de DQO, utilizando-se lixiviado sem diluição, com DQO afluente da ordem de 11.000 mg/L, relação AVT/DQO aproximadamente igual a 0,6 e tempo de reação igual a 7 dias. Verificou-se que a biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados está diretamente relacionada à relação AVT/DQO, e que para relações AVT/DQO Total inferiores a 0,25, a biodegradabilidade é baixa, para relações entre 0,25 e 0,40 é média, e acima de 0,40 pode ser considerada elevada. Observou-se também que concentrações de N-amoniaco, da ordem de até 4.500 mg/L, não impedem o tratamento anaeróbio, desde que a biomassa esteja devidamente adaptada. Aos perfis temporais de concentração, realizados no ASBBR, foi ajustado um modelo de primeira ordem para consumo de substrato, na forma de DQO Total, obtendo valores de  $K_1$  variando entre  $3,18 \times 10^{-5}$  e  $5,82 \times 10^{-5}$  / $(d \cdot mgSTV/L)$ . O pós-tratamento dos efluentes do ASBBR foi avaliado em um sistema de lodos ativados em batelada seqüencial, que obteve eficiência máxima da ordem de 30% em termos de remoção de DQO, com DQO afluente da ordem de 5.000 mg/L. Quanto ao filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente, obteve-se eficiências superiores a 70%, ao ser alimentado com uma mistura de lixiviado recalcitrante e etanol acidificado, com DQO afluente da ordem de 20.000 mg/L.

**Palavras-chave:** Aterros sanitários; Cinética de Monod; Cinética de primeira ordem; Filtro biológico anaeróbio; Lixiviados de aterros sanitários; Lodos ativados em batelada sequencial; Reator anaeróbio em batelada sequencial; Resíduos sólidos urbanos; Tratamento biológico.

Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação

Córdoba, Rodrigo Eduardo

(2014)

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 307/2002 e a Resolução CONAMA nº 448/2012 definem que os resíduos da construção civil (RCC) classe A, caso não sejam reutilizados ou reciclados na forma de agregados, devem ser destinados para aterros de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros. Porém, pequenas quantidades de resíduos de outras classes, e resíduos não inertes acabam dispostos neste tipo de aterro. Esse fato pode ser agravado devido esses aterros não possuírem impermeabilização de base e sistemas de drenagem de lixiviados, o que pode favorecer a migração desses lixiviados de RCC para reservas de água, e colocar em risco a saúde da população e o meio ambiente. Com intuito de contribuir nessa área de conhecimento o presente estudo teve por finalidade investigar o potencial de contaminação de lixiviados de aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação. Para tanto, foi realizado um estudo por meio de duas etapas – simulação de lixiviação de amostras de RCC em colunas de lixiviação (saturadas e não saturadas), e coleta de água subterrânea do aterro de RCC classe A. Resultados da pesquisa apontaram que as amostras de agregados de RCC classe A foram classificadas, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), como sendo resíduos não perigosos e não inertes – Classe II A. A hipótese tema do estudo foi verificada, a qual apontou que existe potencial de contaminação dos lixiviados gerados em aterros de RCC Classe A, os quais podem vir a poluir ou contaminar o solo e as águas subterrâneas inviabilizando o uso dessas águas para consumo humano. As concentrações máximas dos lixiviados de RCC que excederam o valor máximo permitido para consumo humano nas simulações foram: sulfato (950 mg/L), dureza (11.280 mg/L), cor (124 uH), Pb (0,36 mg/L), Cd (0,075 mg/L), Ni (0,088 mg/L), Fe (0,658 mg/L), Ba (1,205 mg/L), Cr (0,125 mg/L), Mn (0,297 mg/L), e Al (3,44 mg/L). A pesquisa também contribuiu para melhoria de projetos, execução e controle de aterros de resíduos da construção civil, a fim de futuramente equacionar possíveis impactos negativos gerados por esse tipo de resíduo ao solo e recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Aterro de inertes; Gestão ambiental; Lixiviados; Resíduos da construção civil; Resíduos sólidos.

Estudo da tratabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários utilizando filtros biológicos operados em batelada sequencial

Corrêa, Tatiana

(2012)

Este trabalho procurou contribuir na busca por informações das características de tratabilidade de lixiviados de diferentes aterros sanitários do interior de São Paulo, e estabelecer correlações entre parâmetros analisados. As coletas foram realizadas nos aterros sanitários de: São Carlos, Araraquara, Rio Claro, Ribeirão Preto, Catanduva e Votorantim. O experimento foi conduzido a 30°C, em dois filtros biológicos anaeróbios operados em batelada sequencial, com capacidade de tratamento de 8 L de lixiviado cada e biomassa imobilizada em suportes de poliuretano inoculados com lodo do fundo de uma das lagoas de lixiviados do aterro de São Carlos-SP. Os filtros operados simultaneamente eram idênticos e foram alimentados com os lixiviados. O monitoramento do reator foi realizado por meio da caracterização físico-química do afluente e efluente de cada ciclo de batelada e dois perfis temporais. Foi realizada a caracterização do lodo, que apresentou morfologias microbianas pertinentes ao tratamento anaeróbio. A caracterização do lixiviado de São Carlos apresentou sólidos totais de 14,5 g/L e sólidos totais voláteis de 5,1 g/L, nitrogênio amoniacal de 2.411 mg/L e nitrato de 115,5 mg/L. Além disso, apresentou resultados mais elevados para DQO (bruta 3.940 mg/L e filtrada 3.565 mg/L); entretanto apresentou características recalcitrantes ao tratamento anaeróbio, assim como os lixiviados de Araraquara, Rio Claro e Ribeirão Preto. Nos tratamentos dos lixiviados de Catanduva e Votorantim a eficiência de remoção de DQO foi de aproximadamente 30%. Com exceção do lixiviado de Catanduva, o nitrogênio amoniacal esteve presente em todos os lixiviados em altas concentrações, representando cerca de 80% do nitrogênio total e refletindo na alcalinidade total. A concentração de metais estava dentro dos valores máximos permitidos pela Resolução no. 430/2011 do CONAMA. A população de coliformes totais manteve-se estável (de  $2,3 \times 10^5$  para  $1,1 \times 10^5$  NMP/100 mL) no lixiviado de São Carlos, no entanto, em todos os demais tratamentos, os coliformes totais e termotolerantes foram removidos totalmente, demonstrando a eficiência do tratamento em filtro anaeróbio para estes parâmetros. Os lixiviados de aterros jovens apresentaram algumas características de aterros velhos, o que sugere que eles passaram rapidamente para a fase metanogênica. A implementação de filtros biológicos nos aterros sanitários torna-se uma alternativa de pré-tratamento em municípios com número reduzido de habitantes e baixa vazão de lixiviado, sendo possível dimensionar o filtro biológico e viabilizar o tratamento.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; Bateladas sequenciais; Coliformes; Filtro anaeróbio; Lixiviados; Resíduos sólidos.

## Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)

Lopes, Adriana Antunes  
(2007)

Os resíduos sólidos podem poluir e contaminar as águas superficiais e subterrâneas, pela migração de lixiviado gerado em aterros e lixões, o que pode colocar em risco a saúde pública e o ambiente. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a gestão dos resíduos sólidos urbanos na bacia hidrográfica Tietê-Jacaré, pertencente a 13ª Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI-13) do Estado de São Paulo, bem como verificar a sua influência na qualidade dos recursos hídricos da região, por meio de coletas de água superficial (14 pontos) e subterrânea (20 pontos), localizados nos municípios de Araraquara, Bauru, Brotas, Jaú, Ribeirão Bonito e São Carlos. Para a realização deste trabalho foram coletadas quatro amostras de água subterrânea em quatro poços de monitoramento, um a montante e três a jusante, de cinco aterros. Também foram coletadas quatro amostras de água em dois pontos de sete córregos na área de influência de aterros e lixões. As coletas foram realizadas durante 2004 e 2005. As amostras foram submetidas a análises físico-química, microbiológica e ecotoxicológica. O nível d'água, bem como os parâmetros pH, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e temperatura foram obtidos *in situ*. Durante o monitoramento realizado foi constatado alteração das características naturais dos recursos hídricos, indicando poluição e contaminação em alguns pontos. Com base nas visitas realizadas e nas informações obtidas, o estudo permitiu concluir que não há gestão integrada dos resíduos sólidos na bacia Tietê-Jacaré, salvo avanços em alguns municípios. Os aterros municipais estão melhorando gradativamente, a fim de atenderem às exigências dos órgãos ambientais, porém constatou-se que as medidas são emergenciais e corretivas. Falta investimento da administração pública no que se refere à prevenção dos impactos negativos.

**Palavras-chave:** Água subterrânea; Água superficial; Aterros sanitários; Bacia hidrográfica Tietê-Jacaré; Gestão integrada de resíduos sólidos; Lixiviado; Monitoramento; UGRHI-13



# CAPÍTULO 04

| DISSERTAÇÕES DE MESTRADO



## Estudo da atenuação dos contaminantes de líquidos percolados no solo

Almeida, Tania Leme de  
(2005)

A maioria dos municípios brasileiros dispõe os resíduos sólidos domiciliares em locais a céu aberto, sem controle e critério, contribuindo para a poluição das águas superficiais e do lençol freático. Estudos da contaminação de solos e seus mecanismos são cada vez mais explorados devido à necessidade de segurança, a longo prazo, exigida para sistemas de contenção de resíduos. A movimentação de chorume dos aterros para os solos, águas superficiais e subterrâneas coloca em risco a saúde pública pela contaminação. Estudos recentes constataram a existência de processos que permitem a atenuação natural dos contaminantes presentes nestes percolados. O adequado entendimento destes processos pode dar origem a uma série de benefícios possíveis de serem aplicados em aterros antigos, novos ou naqueles que ainda serão concebidos. O presente trabalho avaliou a atenuação de contaminantes, presentes no chorume, pelo solo por meio de experimento desenvolvido em colunas de percolação. O chorume e o solo utilizados neste experimento são provenientes do aterro sanitário de São Carlos - SP. O solo utilizado foi caracterizado quanto à composição físico-química para verificar o transporte do percolado nas colunas e a interação solo-contaminante. As curvas características do transporte de contaminantes traçadas apresentaram baixas concentrações de Pb (Chumbo), Cd (Cádmio), Fe (Ferro), Zn (Zinco) e Mn (Manganês) nas amostras efluentes. Já o Na (Sódio), K (Potássio), Cl (Cloro), Ni (Níquel) e Cu (Cobre) foram preferencialmente lixiviados com o chorume percolante, evidenciando a variação da faixa de concentração de cada elemento no percolado. Os perfis de concentração dos metais pesados mostraram que existe uma frente de contaminação, apresentando uma relação entre a concentração do metal sorvido no solo e sua concentração no percolado. As curvas de retenção de metais no solo mostraram que o Cd, Pb, Cr, Cu e Mn foram preferencialmente sorvidos no solo em relação ao Fe, Zn e Ni. O solo em questão apresentou bom potencial para retenção dos contaminantes presentes no chorume, apesar de ser classificado como arenoso e de suas características químicas não se enquadrarem nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. Seu uso em base de aterros sanitários de pequeno porte pode ser considerado, desde que suas características sejam melhoradas por meio da mistura com geossintéticos. Este procedimento acarreta certa economia na construção de camadas impermeabilizantes, pois dispensa o uso de argilas e evita seu transporte de locais distantes do aterro.

**Palavras-chave:** Atenuação natural; Aterro sanitário; Líquidos percolados; Metal pesado; Resíduos sólidos; Solo.

Subsídios bibliográficos para utilização de lixão desativado para disposição final de resíduos sólidos gerados no setor calçadista do município de Jaú – SP

Bernardi Filho, Nilo André

(2005)

Com o advento da geração do consumo e conforto, depara-se hoje com o aumento exponencial da quantidade de resíduos sólidos, que são lançados em áreas nem sempre apropriadas. Cada vez mais, e em função do crescimento, os administradores das cidades estão encontrando dificuldades para escolher áreas próprias para a destinação final dos resíduos sólidos, causando inúmeros impactos ambientais, áreas estas, que muitas vezes se apresentam no caminho do crescimento municipal. Nesse sentido, esta pesquisa estuda a possibilidade de utilização de áreas anteriormente degradadas pela disposição de resíduos sólidos, como alternativa locacional para disposição de resíduos sólidos, gerados pelo setor calçadista do município de Jaú-SP, após a recuperação da mesma. Este estudo vai ser realizado no lixão de Jaú, onde deverão ser coletadas amostras de água em poços de monitoramento localizados no entorno da área e amostras de chorume. Um dos alicerces que sustenta um município e proporciona desenvolvimento ao mesmo, é o crescimento do setor industrial, já que seus habitantes precisam de uma ocupação e serem remunerados dignamente por ela. O município de Jaú gera nas suas indústrias cerca de 30 toneladas diárias de resíduos sólidos, sendo 60% proveniente de indústrias calçadistas, o que torna a pesquisa interessante, já que serão analisados dados que envolverão o resultado do descarte de resíduos sólidos, durante vários anos e seu comportamento após esse período.

**Palavras-chave:** lixão desativado; reaproveitamento; resíduos sólidos do setor calçadista.

Tratamento biológico de líquidos de aterros sanitários utilizando reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF)

Contrera, Ronan Cleber

(2003)

Ainda são poucas as cidades brasileiras que dão destino adequado aos seus resíduos sólidos urbanos. A disposição de resíduos em aterros sanitários é hoje uma das formas mais econômicas e adequadas de disposição. A grande quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos domiciliares, a umidade própria dos resíduos, a infiltração de águas de chuvas e as atividades microbiológicas faz com que se gere no interior dos aterros os líquidos percolados. Esses líquidos apresentam elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e são potencialmente poluidores. Esse trabalho avaliou a eficiência e a viabilidade da utilização de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) no tratamento de líquidos percolados coletados nos aterros sanitários de Bauru-SP e Rio Claro-SP. O reator, em escala piloto, constituiu-se de um tubo de PVC com 3,0 m de comprimento e 14,5 cm de diâmetro interno, perfazendo uma relação comprimento por diâmetro (L/D) de aproximadamente 20 e volume de aproximadamente 50 L. O reator possuía coletor de gases e amostradores intermediários ao longo do comprimento, em posições correspondentes a L/D de 4, 8, 12 e 16. Como suporte de imobilização foi utilizada espuma de poliuretano com densidade de 20 Kg.m<sup>-3</sup> na forma de cubos de aproximadamente 10 mm de lado. Os percolados foram coletados e armazenados em uma câmara fria a 5°C e o reator foi mantido com temperatura controlada em uma câmara a 30°C. Ao se operar o sistema por oito semanas, com o percolado coletado em Bauru-SP, não houve adaptação da biomassa devido provavelmente às altas concentrações de NH<sub>3</sub>. Utilizando o percolado de Rio Claro-SP, o sistema apresentou inicialmente baixas eficiências, mesmo com o tempo de detenção hidráulica de 25 dias. Mas após mudanças na estratégia de operação, utilizando-se um substrato sintético na adaptação e substituindo-se o percolado por outro coletado no mesmo aterro, o sistema reagiu muito bem, obtendo-se eficiências de aproximadamente 80% em termos de remoção de DQO, com tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias e com DQO afluente da ordem de 5.000 mg/L.

Palavras-chave: Aterro sanitário; Líquidos percolados; Reator anaeróbio horizontal de leito fixo; Resíduos sólidos urbanos; Tratamento biológico.

Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos - SP por meio da caracterização físico-química

Ferreira, Adriana Gonçalves

(2010)

Este trabalho teve como objetivo determinar as fases de decomposição das frações dos resíduos dispostos no aterro sanitário de São Carlos – SP a partir do estudo das características dos lixiviados gerados. Foram coletadas amostras do lixiviado gerado na parte mais antiga do aterro (encerrada a 10 anos) e nas 1a, 2a e 3a ampliações (esta última em operação). A coleta foi dividida em dois períodos: seco (junho a setembro de 2009) e chuvoso (outubro a dezembro de 2009). As seguintes análises foram realizadas: pH, alcalinidade, ácidos voláteis totais, DQO, sólidos, metais NTK e 'N' amoniacal. Em todos os pontos os valores de pH encontrados foram superiores a 8. A alcalinidade variou entre 4000 e 12000 mg/L  $\text{CaCO}_3$  enquanto os AVT apresentaram concentrações sempre inferiores a 700 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . A DQO apresentou concentrações entre 3000 e 7000 mg/L durante o período seco, decaindo para 2000 e 4000 mg/L no período chuvoso. Os resultados encontrados sugerem que o lixiviado de todos os pontos encontram-se na fase metanogênica de decomposição da matéria orgânica. A partir dos resultados de NTK e 'N' amoniacal ficou evidente que a amônia é o poluente presente em maior concentração no lixiviado – corresponde a mais de 70 % do NTK. A biodegradabilidade foi investigada através das relações AVT/DQO e STV/ST e resultaram em valores menores que 0,25 e 0,3 respectivamente, indicando que o lixiviado do aterro de São Carlos possui baixa biodegradabilidade.

Palavras-chave: Caracterização físico-química; Lixiviados de aterros sanitários; Resíduos sólidos

## Gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares de São Carlos-SP: análise do potencial de aproveitamento energético de biogás oriundo de aterro sanitário e biometanizadores

Melo, Dayane Oliveira Santos

(2022)

O manejo inadequado dos resíduos sólidos urbanos caracteriza um risco para a saúde da população e para o meio ambiente. Embora o uso destes resíduos para geração de energia seja incentivado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, o aproveitamento energético por meio destes ainda é incipiente no Brasil. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento do biogás advindo da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos domiciliares de São Carlos no aterro sanitário e em biometanizadores, em termos energéticos e econômicos. Desta forma, foi realizado um diagnóstico da situação atual do gerenciamento destes resíduos na cidade. Em seguida, realizou-se projeções referentes ao crescimento populacional, através dos métodos Geométrico e Decreasing Growth Rate, e geração de resíduos domiciliares para cidade durante 16 anos (2022-2038). De posse de tais informações, foi levantado o potencial de produção de energia elétrica para o aterro sanitário da cidade através do software LandGEM®, e para biometanizadores por meio da metodologia proposta por Cassini et al. (2003). Posteriormente, fez-se uma análise da viabilidade econômica destes projetos, considerando o sistema de compensação na Geração Distribuída e, como análise ambiental, foi utilizado o software WARM®, para avaliar a emissão de gases de efeito estufa para cenários alternativos de gerenciamento destes resíduos. Os resultados de projeção populacional por meio dos dois métodos escolhidos mostraram-se equivalentes. A projeção geométrica apresentou um crescimento populacional na cidade de 48,06%, entre 2010 e 2038, e a geração de resíduos mostrou a um aumento de 38,14% entre o período analisado (2022- 2038). Os resultados energéticos foram positivos para o cenário da cidade, visto que a potência ótima estimada para o aterro, baseada na metodologia de Silva et al. (2021), foi de 675 kW e para os cenários propostos nos biometanizadores, a potência máxima estimada foi de 604 kW e 2.002,15 kW. Os resultados econômicos foram satisfatórios para o aterro sanitário e para uma parcela considerável da análise para os biometanizadores. A análise ambiental mostrou que cenários alternativos de gerenciamento de resíduos domiciliares, como reciclagem e digestão anaeróbia, apresentam impactos positivos na redução de emissão de gases de efeito estufa, em cerca de 138,2%, além de uma economia de energia de aproximadamente 2.097 GWh. Neste sentido, os resultados do trabalho mostraram que o aproveitamento energético do biogás oriundo destes resíduos mitiga os impactos ambientais e possibilita a expansão do uso de energias sustentáveis no Brasil. A expectativa é de que os resultados expostos incentivem o uso destes resíduos para geração de energia na cidade de São Carlos, contribuindo com a gerenciamento de resíduos sólidos no município, envolvendo fins lucrativos de geração de energia e destinação ambientalmente adequada.

**Palavras-chave:** Biogás; Digestão anaeróbia; Energia; Resíduos sólidos urbanos.

Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil

Pavan, Margareth de Cássia Oliveira

(2010)

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas, em função da quantidade e diversidade dos mesmos. O grande desafio está em encontrar soluções ambientalmente seguras, socialmente adequadas e economicamente eficientes para equacionar este problema. Todavia, se corretamente gerenciados, estes resíduos podem ser aproveitados do ponto de vista energético. Estimativas realizadas neste estudo apontam para um potencial de geração de energia a partir de resíduos urbanos, para o Brasil, da ordem de 16 GW (utilizando o processo de incineração) ou 5,8 GW (pela digestão anaeróbia em aterros). Outros benefícios da recuperação energética dos resíduos também podem ser destacados tais como: (a) benefícios estratégicos, uma vez que essa ação pode contribuir como fonte alternativa de energia; (b) benefícios ambientais, pois colabora com organização dos aterros e a mitigação de gases de efeito estufa; (c) benefícios sócio-econômicos, devido ao desenvolvimento de tecnologia nacional com o uso de equipamento e insumos nacionais e, sobretudo, (d) emprego de mão-de-obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo de recuperação energética. O presente trabalho faz uma análise das tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil, para recuperação energética a partir RSU, e propõe uma série de diretrizes para esse aproveitamento, levando em consideração as especificidades da realidade brasileira.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; Energia renovável; Incineração; Resíduos sólidos urbanos.

**Monitoramento integrado em aterro sanitário com codisposição de resíduos sólidos não inertes e inertes: Experiência do município de Limeira – SP**

Pimentel Júnior, Antônio Carlos Nogueira

(1998)

O trabalho teve por objetivo avaliar o método de codisposição de resíduos sólidos industriais não inertes e inertes com resíduos sólidos domiciliares em aterro sanitário, estabelecendo critérios e metodologias que atendessem as exigências técnicas e operacionais dos órgãos de controle ambiental. Os estudos foram desenvolvidos no aterro sanitário do município de Limeira, Estado de São Paulo, Brasil. Para avaliar o método de codisposição, considerou-se a infra-estrutura do empreendimento e o sistema de monitoramento implantado. Foram realizadas amostragens e análises periódicas dos líquidos percolados e das águas subterrâneas. Os resíduos sólidos industriais não inertes, das principais indústrias, dispostos no aterro sanitário, foram caracterizados e quantificados. Avaliou-se também o sistema de recirculação de líquidos percolados na massa de resíduos sólidos com forma de reduzir o tempo de estabilização biológica do resíduos sólidos, tratando o efluente sem que houvesse necessidade de lançamento em recursos hídricos. As concentrações dos parâmetros analisados, para os líquidos percolados e águas subterrâneas apresentaram-se coerentes com os valores citados na bibliografia pesquisada. Demonstrou-se que o método de codisposição é uma alternativa técnica e economicamente adequada para disposição final de resíduos sólidos não perigosos em regiões industrializadas e que a relação entre a iniciativa privada e o poder público municipal pode viabilizar a solução de problemas na área de saneamento básico e meio ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos.



Avaliação da co-disposição de lodo de tanques sépticos e fração orgânica de Resíduos Sólidos  
Domiciliares em reatores anaeróbios

Tosetto, Vitor

(2009)

Apesar de surgir como um país emergente, infelizmente a situação do saneamento básico no Brasil é bastante precária. Dos 5.507 municípios brasileiros apenas 52,2% possuem algum tipo de serviço de esgotamento sanitário (IBGE, 2000). Diante deste cenário alarmante, soluções individuais passam a ganhar mais importância. A adoção de tanques sépticos como uma alternativa para a solução do esgoto sanitário, em regiões carentes de rede de esgoto, passa a ser viável devido ao seu baixo custo e eficiência satisfatória. No entanto, a operação inadequada dessas pequenas unidades pode se tornar um passivo ambiental, em virtude do lodo produzido, subproduto da degradação anaeróbia. A solução mais fácil e prática seria a sua disposição em Estações de Tratamento de Efluente, no entanto é uma minoria dos municípios brasileiros, 20,2% (IBGE, 2000), que contam com estas unidades. A proposta do presente trabalho foi simular a comportamento da disposição do Lodo de Tanques Sépticos (LTS) em aterros sanitários, juntamente com resíduos sólidos domiciliares (RSD). Por meio de quatro reatores anaeróbios, com 50 litros cada, avaliaram-se os efeitos da degradação anaeróbia da Fração Orgânica do RSD (FORSD) na presença de LTS. Todos os reatores possuíam a mesma quantidade de FORSD, 28 kg. Cada unidade experimental recebeu quantidades diferentes de LTS: reator 1=0 L; reator 2=4,9 L; reator 3=9,8 L e reator 4=14,7 L. O monitoramento acompanhou as características químicas e a quantidade do lixiviado, a composição do biogás e as mudanças físico-químicas na mistura de FORSD e LTS no início e no final do experimento. Entre os resultados obtidos, destaca-se a eficiência de remoção de DQO da FORSD, 21%, 51%, 68% e 73% para os reatores 1, 2, 3 e 4 respectivamente. E a aceleração na degradação anaeróbia nos reatores que receberam LTS, devido a produção precoce de metano, aparecimento no 40o dia nos reatores tratados com LTS e pela disponibilidade imediata de nutrientes, observada pelas análises de nitrogênio amoniacal.

**Palavras-chave:** Fossa séptica; Lodo de tanques sépticos; Reatores anaeróbios; Tanques sépticos e resíduos sólidos domiciliares.

# CAPÍTULO 05

## | TRABALHOS DE GRADUAÇÃO



## Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos, SP

Andrade, Mirele Martins  
(2015)

O Brasil, assim como a maioria dos países subdesenvolvidos, ainda lida com as consequências da gestão inadequada de seus resíduos. Nesse contexto, lixões e aterros controlados passaram a ser alvos de fiscalização e pesquisa, por representarem áreas potenciais de contaminação aos recursos hídricos. Quando instalados em locais onde os solos são vulneráveis à infiltração do lixiviado, estes depósitos podem levar a alterações das características físico-químicas e biológicas de mananciais superficiais e subterrâneos. O lixão Santa Madalena, localizado no município de São Carlos (SP), apresenta características de vulnerabilidade, uma vez que foi instalado sobre uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), importante reserva de água para a América Latina. Nesse sentido, o presente estudo visou monitorar, durante 12 meses, a qualidade da água subterrânea na área deste lixão desativado, através da análise das principais características físico-químicas da água coletada através de piezômetros pré-existentes no local, situados à montante, jusante e dentro da área de influência do lixão. A comparação entre os resultados obtidos por outros autores e pelo presente trabalho indica que houve diminuição da qualidade da água do local, de acordo com os parâmetros avaliados. Comparando com os valores especificados para consumo humano (Portaria MS nº 2914) e valores orientadores para água subterrânea (CETESB, 2014), os resultados obtidos em alguns parâmetros (alumínio, cádmio, chumbo, cobalto, cromo, ferro, manganês, níquel, nitrato e nitrogênio amoniacal) indicaram riscos potenciais para a saúde humana, não sendo esta água adequada para consumo.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos; Piezômetros; Contaminação; Sistema Aquífero Guarani.

Avaliação da viabilidade do tratamento de líquidos percolados em estação de tratamento de esgoto

Ferreira, Flávia de Arruda

(2008)

A disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários não significa o fim desse problema de saneamento ambiental. Nesse sistema de disposição há a geração de líquidos percolados com elevada carga poluidora. O principal objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade de tratamento dos líquidos percolados gerados no aterro sanitário de São Carlos na Estação de Tratamento de Esgoto da cidade. Foram realizados testes de atividade metanogênica específica para avaliar se a presença de líquidos percolados em amostras com esgoto sanitário e lodo proveniente de reator UASB influencia na produção de metano. Os dados foram analisados com testes estatísticos de correlação linear (teste de correlação de Pearson) e não linear (teste de correlação de Spearman). A velocidade máxima e média de produção de metano para a pior condição de efluente foi de  $1,23 \times 10^{-4}$  e  $4,07 \times 10^{-5}$  gCH<sub>4</sub>/gSTVh e para a melhor condição foi de  $1,06 \times 10^{-4}$  e  $4,16 \times 10^{-5}$  gCH<sub>4</sub>/gSTVh, respectivamente. Para o tamanho da amostra analisada, não houve correlação estatística significativa entre o aumento de líquidos percolados na amostra e a diminuição da produção de metano, indicando que a presença de percolados não influencia no tratamento. Os resultados obtidos no estudo indicam a possibilidade de tratar os líquidos percolados produzidos no aterro sanitário de São Carlos na Estação de Tratamento de Esgoto, sem prejuízo para a qualidade do efluente dos reatores anaeróbios.

**Palavra-chave:** Resíduos sólidos.

Análise comparativa dos impactos na qualidade dos recursos hídricos causados por lixão e aterros sanitários em São Carlos – SP

Justo, Larissa Freire

(2018)

A disposição final de resíduos sólidos urbanos, atualmente, é dada de duas formas: o lixão e o aterro sanitário, sendo este a forma adequada de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. O aterro é construído e operado de forma que o chorume, líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, não atinja as camadas inferiores do solo, lençóis freáticos e corpos hídricos, evitando a contaminação dos mesmos e minimizando riscos à saúde pública e ao meio ambiente. O município de São Carlos, no interior de São Paulo, apresenta dois locais de disposição final de resíduos já encerrados, o lixão Santa Madalena e o aterro sanitário Guaporé, e um local ativo, a Central de Valorização de Resíduos Sólidos (CVR). Estudos realizados no lixão desde meados dos anos 1990 mostraram concentrações acima do permitido de diversas variáveis nas amostras de água, mesmo após o encerramento de suas atividades. O aterro sanitário Guaporé, por sua vez, foi encerrado em 2013 apresentando boas condições de funcionamento. A CVR foi inaugurada em 2013 e apresenta todos os aspectos de impermeabilização e adequação exigidos pela CETESB. É necessário, porém, o monitoramento dos locais para assegurar que os aterros sanitários estão adequados e não impactam negativamente a qualidade da água. Neste contexto, o projeto proposto tem como objetivo apresentar a evolução dos parâmetros de qualidade dos recursos hídricos nas imediações dos três locais de estudo, realizando também a coleta de novas amostras de águas superficiais e subterrâneas. As análises das amostras apontaram concentrações significativamente altas de variáveis físico-químicas nos corpos hídricos nas imediações do lixão, indicando a existência de uma pluma de contaminação. Já os aterros sanitários, tanto o desativado quanto o ativo, apresentaram parâmetros conformes com a legislação para a água subterrânea e superficial em suas imediações, mesmo com a alta carga orgânica presente no chorume coletado. Por fim, a comparação entre os três locais de estudo permitiu a confirmação do aterro sanitário como método adequado e mais apropriado para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; Lixão; Resíduos sólidos urbanos; Contaminação; Chorume.

## Avaliação dos metais pesados no solo após ensaio de colunas com chorume

Kasemodel, Mariana Consiglio  
(2009)

Este trabalho teve como objetivo avaliar a retenção de metais pesados no solo, após o ensaio de colunas com chorume. O experimento foi montado em quatro colunas de acrílico, preenchidas com o solo e percolados com chorume, ambos do aterro sanitário de São Carlos/SP. A percolação ocorreu com auxílio de bombas peristálticas e mangueiras de silicone, as quais conectavam os galões de chorume às colunas de solo. Dois galões do afluente foram acidificados e enriquecidos com metais pesados, e os outros dois, não foram alterados. Antes do início da percolação com o chorume, foi bombeado água pura no solo das colunas até que atingisse 1 volume de poros (VP) percolado. A cada três dias foram coletadas as amostras efluentes das colunas, e estas submetidas às análises de metais pesados. No final do experimento, a coluna de solo foi dividida a cada 25 cm, e submetidas às análises de metais pesados, para assim, determinar onde houve maior retenção de metais pesados na coluna. Os resultados obtidos para a amostra afluente e efluente foram comparados com as do solo antes e depois da percolação. Através da análise qualitativa, foi possível explicar o comportamento de alguns metais no solo. Os resultados do experimento apontaram que o solo reteve metais pesados, em sua grande maioria, no final da coluna, e que as amostras acidificadas e enriquecidas apresentaram maior retenção neste mesmo trecho.

**Palavra-chave:** Resíduos sólidos.

Estudo de alternativas para reuso, tratamento e destinação final de cinzas de fundo geradas no processo de incineração de resíduos sólidos urbanos

Nitsch, João Guilherme

(2014)

Este estudo prevê uma revisão bibliográfica sistemática sobre a situação atual das possíveis alternativas de tratamento, reutilização e disposição final das cinzas de fundo provenientes do processo de incineração dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Atualmente o Brasil ainda aposta, em quase cem por cento dos casos por cento dos casos, no uso de aterros sanitários como disposição final, e direta, dos RSU. Entretanto, diversos países do mundo, como o Japão, França, Estados Unidos e outros, vêm mostrando o potencial do uso de incineração como uma etapa de valorização dos resíduos dentro da gestão dos RSU. A partir do processo de queima dos RSU é possível produzir energia, calor e produtos que podem ser reutilizados em diversos setores, como o da construção civil. Entretanto, pela alta concentração de substâncias tóxicas, principalmente metais pesados, diversos cuidados devem ser tomados para ter um processo limpo e seguro. Dentro das alternativas apresentadas, tentou-se apresentar opções sempre viáveis e sustentáveis, visto que atualmente duas grandes preocupações presentes nos empreendimentos são a questão econômica e a redução do uso dos recursos naturais finitos. Além disso, dentro das alternativas para as cinzas de fundo, o presente trabalho hierarquiza as alternativas para as cinzas de fundo da seguinte maneira: reutilização, tratamento seguido de reutilização e tratamento seguido de disposição final.

**Palavras-chave:** Incineração de resíduos; Resíduos sólidos; Cinzas de fundo; Reuso cinzas; Tratamento cinzas.

## Aproveitamento energético do gás do aterro sanitário de São Carlos (SP): viabilidade e oportunidades

Parenti Júnior, Heitor  
(2006)

Uma das soluções que desponta atualmente para o controle da emissão gasosa em aterros sanitários é o aproveitamento racional de energia contida no gás, que é o resultado da digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos – RSU – dispostos em aterros sanitários municipais. Sabendo-se que sua composição apresenta quantidades consideráveis de metano – gás de alto poder calorífico –, o gás dos aterros pode ser utilizado em diversas situações locais de demanda por energia, tanto para usos diretos (p.ex.: caldeiras), como para usos indiretos (p.ex.: geração de energia elétrica). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo a avaliação do potencial energético do gás gerado no aterro sanitário de São Carlos – SP, bem como a averiguação dos aspectos técnicos, econômicos e políticos envolvidos em sua utilização. Assim, investigou-se a produção de gás no referido aterro e o seu poder calorífico, através de coletas *in situ* e do cálculo do potencial de geração de gás por tonelada de resíduo disposto no aterro sanitário. Além disso, foram estudados modelos matemáticos de produção de gás em aterros e a possibilidade de vincular um projeto de aproveitamento energético do gás do aterro de São Carlos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Quioto. Sendo assim, os seguintes resultados foram obtidos: a porcentagem de metano no gás e atualmente da ordem de 40%; o potencial da geração de metano,  $L_0$ , para este aterro é de 129,1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/t de RSU; e um projeto de aproveitamento energético pode gerar 83.143 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para um período de 14 anos.

**Palavra-chave:** Resíduos sólidos.



Estudo de alternativas de tratamento e disposição final dos resíduos de poda e capina gerados no município de São Carlos/SP

Ramella, Rafael Moura

(2009)

A geração de resíduos sólidos no meio urbano e a necessidade de sua disposição final fazem parte dos maiores problemas ambientais defrontados pela humanidade atualmente. Os resíduos de poda e capina também fazem parte de tal problemática. O presente trabalho realizou uma quantificação dos resíduos de poda de árvores e capinas destinados ao aterro de RCD do município de São Carlos e o seu destino final, vinculado principalmente ao potencial de tratamento desse resíduo em processo de compostagem, haja vista que depositá-lo em lixões ou aterros sanitários, além da poluição gerada a partir da degradação, comprometem o espaço dos mesmos, diminuindo seu tempo de vida útil. Através do estudo de caso do aterro de resíduos de construção e demolição (RCD) do município de São Carlos pôde-se verificar a dimensão da problemática ocasionada pelos resíduos de poda e capina em um município e, principalmente, em um aterro de RCD, ressaltando a importância de tratamento dos resíduos de poda e capina. A quantificação dos resíduos de poda e capina foi realizada através de um cruzamento de dados obtidos por Córdoba (2009) (em fase de elaboração) e pelo Relatório de Material Coletado, ambos obtidos no aterro de RCD do município de São Carlos, SP. O volume médio mensal obtido foi de 1.000 m<sup>3</sup>. Através de uma análise bibliográfica detalhada foi possível identificar que a compostagem é uma excelente alternativa ao tratamento dos resíduos de poda e capina. Os 280m<sup>3</sup> de composto produzidos mensalmente podem ser totalmente utilizados por instituições municipais (Horto Florestal, Horta Municipal e Prefeitura Municipal) e pelo mercado regional.

**Palavras-chave:** Resíduos de poda e capina; Compostagem de resíduos urbanos; Composto; São Carlos-SP; Aterro de resíduos de construção civil; Resíduos urbanos



Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos

USP



SHS

Departamento de Hidráulica e Saneamento